

PAT-NO: JP356168520A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 56168520 A

TITLE: DETECTING METHOD FOR DAMAGE OF  
PLANETARY GEAR

PUBN-DATE: December 24, 1981

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

ENOHARA, KENJI

HASHIZUME, TSUTOMU

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

HITACHI ZOSEN CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP55073095

APPL-DATE: May 31, 1980

INT-CL (IPC): G01H001/00, G01M013/02 , G01N029/04 ,  
F16H001/28

US-CL-CURRENT: 73/579, 73/587 , 73/593 , 73/653

**ABSTRACT:**

**PURPOSE:** To detect the damage generated in a planetary gear without fail by detecting biting sounds or vibration, obtaining a time series signal, and operating said signal.

**CONSTITUTION:** The biting signal detected by a signal detector 1 is passed through a band pass filter 3, where only the frequency component which is effective in detecting the damage is taken out. Then, the output is subjected to the envelope detection in an envelope detector 7. The number of revolution of the planetary gear and the number of revolution of a sun gear are detected by revolution detectors 2 and 3, respectively, and the results are divided by frequency dividers 5 and 6. The outputs of the envelope detector 7 and the frequency dividers 5 and 6 are inputted to AD converter 8 and 9, the outputs of the envelope detector 7 are sampled, and the outputs are inputted into averaging processors 10 and 11. The outputs of the averaging processors 10 and

11 are inputted to a divider 12, and the detecting signal of the damage generated in the planetary gear is outputted from the divider 12.

COPYRIGHT: (C)1981,JPO&Japio

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭56—168520

⑪ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 H 1/00  
G 01 M 13/02  
G 01 N 29/04  
// F 16 H 1/28

識別記号

庁内整理番号  
6860—2G  
6458—2G  
6558—2G  
2125—3J

⑬ 公開 昭和56年(1981)12月24日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 6 頁)

## ⑭ 遊星歯車の損傷検知方法

⑯ 発明者 橋爪務

大阪市西区江戸堀1丁目6番14  
号日立造船株式会社内

⑰ 特 願 昭55—73095

⑱ 出 願 昭55(1980)5月31日

⑲ 出 願 人 日立造船株式会社

⑳ 発 明 者 榎原憲二

大阪市西区江戸堀1丁目6番14  
号

大阪市西区江戸堀1丁目6番14  
号日立造船株式会社内

㉑ 代 理 人 弁理士 藤田龍太郎

## 明 細 書

## 1 発明の名称

遊星歯車の損傷検知方法

## 2 特許請求の範囲

① 遊星歯車の任意の公転角度に発生するかみ合い音または振動を、前記遊星歯車の公転に同期した一定の間隔毎および、太陽歯車の回転に同期した一定の間隔毎にそれぞれ検出し、前記検出により時系列信号をそれぞれ得、前記時系列信号からそれぞれ複数個の信号の相加平均を求め、前記相加平均により得た2つの信号成分の比から稼働中の遊星歯車機構の前記遊星歯車に発生した損傷を検知することを特徴とする遊星歯車の損傷検知方法。

## 3 発明の詳細な説明

この発明は、稼働中のプラネタリ型遊星歯車機構の遊星歯車に発生した損傷を、かみ合い音または振動を利用して検知するようにした遊星歯車の損傷検知方法に関する。

一般に、歯車のかみ合いにおいては、宿命的にかみ合い音または振動を発生し、その発生原因の1つは歯車誤差であり、かみ合い音または振動(以下かみ合い信号と称す)の振幅は、かみ合う歯車の誤差に依存する。そこでピッチングなどにより損傷が発生すると見掛上極端に大きな誤差になり、その損傷をもつ歯がかみ合う際には、大振幅のかみ合い信号が出現する。

そこで、このかみ合い信号を監視することにより、損傷の発生を検知することができる。

しかし、かみ合い信号には、かみ合う歯車それぞれの誤差の影響が含まれているため、単に監視するだけではいずれの歯車に損傷が発生したか判別することが困難であり、特に複雑なプラネタリ型遊星歯車機構においては、判別することが極めて困難であり、このため、かみ合い信号をそれぞれの歯車の誤差に由来する成分毎に分解して監視する必要がある。

この発明は前記の点に留意してなされたものであり、つぎにこの発明を、その1実施例を示した

図面とともに詳細に説明する。

図面において、(8)は歯数 $Z_s$ の太陽歯車、(P)は歯数 $Z_p$ の複数の遊星歯車であり、太陽歯車(8)とかみ合いそれぞれの中心の回りを回転するとともに太陽歯車(8)の回りを公転する。(R)は歯数 $Z_r$ の内歯車であり、遊星歯車(P)の外側に設けられ、遊星歯車(P)とかみ合い、太陽歯車(8)、遊星歯車(P)とともにプラネタリ型遊星歯車機構を構成する。(1)は信号検出器であり、太陽歯車(8)と遊星歯車(P)および内歯車(R)のかみ合いにより発生するかみ合い信号を検出する。(2)は遊星歯車(P)の公転回数を検出する第1回転検出器、(3)は太陽歯車(8)の回転回数を検出する第2回転検出器、(4)は信号検出器(1)で検出されたかみ合い信号のうちから損傷検知に有効な周波数成分のみを検出する帯域フィルタ、(5)は第1回転検出器(2)からの回転信号を分周する第1分周器、(6)は第1分周器(5)と同様に第2回転検出器(3)からの回転信号を分周する第2分周器、(7)は帯域フィルタ(4)の出力のピーク値の包絡線を検出する包絡線検波器、

(3)

歯車(P1)のj番目の歯 $P_j$ 、特定の遊星歯車(P1)の中心、内歯車(R)のk番目の歯 $R_k$ が並ぶ時に、太陽歯車(8)の回転角度原点と遊星歯車(P)の公転角度原点および内歯車(R)の角度原点が線分AA'上に並ぶとする。そこで、このかみ合い状態を原点とした場合に、太陽歯車(8)が回転するとともに遊星歯車(P)が公転し、再び同一のかみ合いに戻るまでに発生するかみ合い信号の総数は、遊星歯車(P)の歯数 $Z_p$ と、内歯車(R)の歯数 $Z_r$ および、太陽歯車(8)の1回転に対する内歯車(R)上の遊星歯車(P)のかみ合い数 $m$ の最小公倍数 $L_{mpr}$ として求まる。但し、 $m = Z_s \times Z_r / (Z_s + Z_r)$ である。

したがって、同一のかみ合いに戻るまでの遊星歯車(P)の公転回数 $N_p(mpr)$ は、 $N_p(mpr) = L_{mpr} / Z_r$ として求まる。さらに、ここで太陽歯車(8)のi番目の歯 $S_i$ 、特定の遊星歯車(P1)のj番目の歯 $P_j$ 、内歯車(R)のk番目の歯 $R_k$ がかみ合うときの、それぞれの歯車の歯の歯形誤差を $E_{si}$ 、 $E_{pj}$ 、 $E_{rk}$ とし、かみ合い信号の振幅を $A_{ijk}$ とする場合、

(6)

(8)は第1A/D変換器であり、包絡線検波器(7)の出力と、第1分周器(5)の出力とが入力され、第1分周器(5)の出力により包絡線検波器(7)の出力のサンプリングを行なう。(9)は第2A/D変換器であり、包絡線検波器(7)の出力と、第2分周器(6)の出力とが入力され、第2分周器(6)の出力により包絡線検波器(7)の出力のサンプリングを行なう。(10)は記憶能力をもつ第1平均化処理器であり、第1A/D変換器(8)の複数回のサンプリングによるデータが入力されるとともに、それぞれのデータの相加平均を求めて出力する。(11)は記憶能力をもつ第2平均化処理器であり、第2A/D変換器(9)の複数回のサンプリングによるデータが入力されるとともに、それぞれのデータの相加平均を求めて出力する。(12)は割算器であり、第1、第2平均化処理器(10)、(11)の出力が入力され、双方の比を求めて出力する。

つぎに、前記実施例の動作について説明する。

まず、第1図に示すように、太陽歯車(8)の中心を通る線分AA'上に、太陽歯車(8)の中心から順に、太陽歯車(8)のi番目の歯 $S_i$ 、特定の遊星

(4)

$A_{ijk}$ と $E_{si}$ 、 $E_{pj}$ 、 $E_{rk}$ との関係はつぎの(1)式で近似する。但し $E_{pj}$ は太陽歯車(8)と内歯車(R)とにかみ合う歯形誤差を合成したものであり、 $K$ は定数である。

$$A_{ijk} = K \times E_{si} \times E_{pj} \times E_{rk} \dots (1) \text{式}$$

しかし、実際の計測において実測されるかみ合い信号には、かみ合い毎に生じる周期的なかみ合い信号の成分の他に、歯面の潤滑状態や軸受の摩擦および軸受隙間内での歯車軸の変動などによる不規則な雑音の成分が存在する。そこで実測されるかみ合い信号の振幅を $A'_{ijk}$ 、雑音の振幅を $N_{ijk}$ とした場合は、つぎの(2)式の形になる。

$$A'_{ijk} = A_{ijk} + N_{ijk} \dots (2) \text{式}$$

したがって、遊星歯車(P)の公転に同期して前述の第1図に示した状態で線分A-A'上において第1回目の計測を行ない、この時実測されるかみ合い信号の振幅を $A'_{ijk(1)}$ とし、第1回目の計測から起算して遊星歯車(P)が $N_p(mpr)$ 回公転した時に第2回目の計測を行ない、この時実測されるかみ合い信号の振幅を $A'_{ijk(2)}$ とし、同様の要領で

(8)

遊星歯車(P)が $N_p(mpr)$ 回公転する毎に、その時  
実測されるかみ合い信号の振幅を $A'_{ijk}(n)$ として  
合計 $q$ 個検出する。すなわち、これが時系列信号  
であり、さらにこの相加平均 $\overline{A'_{ijk}(n)}$ を求める  
と、つぎの(3)式のようになる。但し、 $N_{ijk}(n)$ は  
計測毎の雑音の振幅を示す。

$$\overline{A'_{ijk}(n)} = A_{ijk} + \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q N_{ijk}(n), \dots (3) \text{式}$$

ここで、 $N_{ijk}(n)$ は不規則な振幅であり、これ  
が $N(0, \sigma^2)$ の正規分布に従えば、その相加平均を  
求めることにより分散は $\sigma^2/q$ となり、不規則な雑  
音の成分を減少し、より忠実なかみ合い信号 $A_{ijk}$   
を得ることができる。

一方、第2図に示すように、線分AA'上に、特定  
の遊星歯車(P1)の $j$ 番目の歯 $P_j$ に無関係に、太  
陽歯車(S)の $i$ 番目の歯 $S_i$ と内歯車(R)の $k$ 番目  
の歯 $R_k$ とが第1図に示した順序で並び、しかも、  
遊星歯車(P)のいずれか1個がその間に介在し、  
その中心が線分AA'上に位置する毎の太陽歯車(S)  
の回転数間隔 $N_s(dm)$ は、太陽歯車(S)の1回転に

(7)

但し、 $h = N_s(mpr)/N_s(mr)$ ,  $N_s(mpr) = Lmpr/m$ ,  
 $N_s(mr)/m$ であり、 $Lmpr$ はかみ合い数 $m$ と、遊星  
歯車(P)の歯数 $Z_p$ および内歯車(R)の歯数 $Z_r$ の  
最小公倍数、 $Lmr$ はかみ合い数 $m$ と内歯車(R)の  
歯数 $Z_r$ との最小公倍数、 $p'$ は遊星歯車(P)の個  
数、 $\ell$ は遊星歯車の番号を示し、特定の遊星歯車  
(P1)を $\ell=1$ とする。さらに、 $f' = Z_p$ であり、

$$\frac{1}{q} \times \sum_{\ell=1}^{p'} \sum_{n=1}^{q/p'} E_p(j+f' \times p' \times n/h) \text{は遊星歯車(P)の歯形}$$

誤差の平均である。

さらに、(6)式において $h = p' \times Z_p = p' \times f'$ の場  
合を考えると、つぎの(8)式のようになる。

$$\overline{A_{i,k}(n)} = K \times E_{Si} \times E_{Rk} \times \frac{1}{q} \times \sum_{\ell=1}^{p'} \sum_{n=1}^{q/p'} E_p(j+n) \dots (8) \text{式}$$

ここで、 $q = p' \times Z_p$ のように選べば、

$$\frac{1}{q} \times \sum_{\ell=1}^{p'} \sum_{n=1}^{q/p'} E_p(j+n) \text{は} p' \text{個の遊星歯車(P)のすべ}$$

ての歯から計算された歯形誤差の平均を示す。

さらに、第3図に示すように、線分BB'を、第

(9)

対する遊星歯車(P)のかみ合い数 $m$ と、内歯車  
(R)上での隣り合う遊星歯車(P)同志の間隔歯数  
 $Z_d$ との最小公倍数 $Ldm$ から $N_s(dm) = Ldm/m$ として  
求まる。ここで、線分AA'上で、太陽歯車(S)が  
 $N_s(dm)$ 回転する毎に、かみ合い信号を $q$ 個検出し、  
その際実測されるかみ合い信号の振幅を $A'_{i,k}(n)$   
とした場合の相加平均 $\overline{A'_{i,k}(n)}$ を求めると、つ  
ぎの(4)式で示されるようになり、(3)式と同様に不  
規則な雑音の成分を減少することができる。

$$\overline{A'_{i,k}(n)} = A_{i,k}(n) + \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q N_{i,k}(n) \dots (4) \text{式}$$

但し、 $\cdot$ 印は遊星歯車(P)の歯に無関係であるこ  
とを示し、 $N_{i,k}(n)$ は計測毎の不規則な雑音の振  
幅を示す。

さらに、 $A_{i,k}(n)$ は計測毎のかみ合い信号の振  
幅を示し、 $\overline{A_{i,k}(n)}$ は、その相加平均を示す。

ここで、 $\overline{A_{i,k}(n)}$ については、つぎの(5)式のよ  
うになる。

$$\overline{A_{i,k}(n)} = K \times E_{Si} \times E_{Rk} \times \frac{1}{q} \times \sum_{\ell=1}^{p'} \sum_{n=1}^{q/p'} E_p(j+p' \times n/h) \dots (5) \text{式}$$

(8)

1図ないし第2図に示した線分AA'から太陽歯車  
(S)の中心を原点に角度 $\theta$ だけ時計方向に回転し  
た位置に設けた場合に、特定の遊星歯車(P1)の  
 $j+1$ 番目の歯 $P_{j+1}$ に無関係に、太陽歯車(S)の  
 $i+1$ 番目の歯 $S_{i+1}$ と内歯車(R)の $k+1$ 番目の歯  
 $R_{k+1}$ とが線分BB'上に、第2図に示した順序と同  
様の順序で並ぶ際に、前述と同様の計測を線分BB'  
上で行ない、かみ合い信号の相加平均 $\overline{A_{(i+1),(k+1)}(n)}$   
を求めると、(6)式と同様につぎの(7)式のようにな  
る。

$$\overline{A_{(i+1),(k+1)}(n)} = K \times E_{S(i+1)} \times E_{R(k+1)} \times \frac{1}{q} \times \sum_{\ell=1}^{p'} \sum_{n=1}^{q/p'} E_p(j+1+n) \dots (7) \text{式}$$

ここで、 $\frac{1}{q} \times \sum_{\ell=1}^{p'} \sum_{n=1}^{q/p'} E_p(j+1+n)$ は(6)式と同様に

遊星歯車(P)の歯形誤差の平均を示す。

さらに、これは線分BB'上に限らず、線分AA'  
を任意の角度回転させた回転位置においても成り  
立ち、このため、いずれの線分上における計測に

00

においても、常に遊星歯車(P)の歯形誤差の平均を求めることができ、事実上、遊星歯車(P)の影響は除去されることになる。

したがって、太陽歯車(S)と遊星歯車(P)および内歯車(R)のそれぞれの歯形誤差の影響を含む $\frac{A'_{ijk(n)}}{A'_{i,k(n)}}$ と、遊星歯車(P)の歯形誤差の影響が除去された $\frac{A'_{ijk(n)}}{A'_{i,k(n)}}$ とから $\frac{A'_{ijk(n)}}{A'_{i,k(n)}}$ を考えると、つぎの(8)式のようになる。

$$\frac{A'_{ijk(n)}}{A'_{i,k(n)}} = \frac{A_{ijk} + \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q N_{ijk(n)}}{A_{i,k(n)} + \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q N_{i,k(n)}} \quad \dots (8) \text{式}$$

ここで、 $q$ が十分に大きく、不規則な雑音成分を無視できる状態を考えると、つぎの(9)式の結果を得る。

$$\frac{A'_{ijk(n)}}{A'_{i,k(n)}} \approx \frac{A_{ijk}}{A_{i,k(n)}} = \frac{K \times E_{si} \times E_{rk} \times E_{pj}}{K \times E_{si} \times E_{rk} \times C_2} = \frac{E_{pj}}{C_2} \quad \dots (9) \text{式}$$

但し、 $C_2 = \frac{1}{q} \times \sum_{i=1}^{p'} \sum_{n=1}^{q/p'} E_p(j+f' \times p' \times n/h)$ であり、 $f' = Z_p, p'$ は遊星歯車(P)の個数である。

01

$1/N_p(mpr)$ に分周し、第2回転検出器(3)の出力を第2分周器(6)により $1/N_s(dm)$ に分周する。

さらに、第1分周器(5)の出力と、包絡線検波器(7)の出力とが第1A/D変換器(8)に輸入され、第2分周器(6)の出力と、包絡線検波器(7)の出力とが第2A/D変換器に輸入され、それぞれ時間間隔 $\Delta t$ で指定個数 $n$ のデータをサンプリングする。

つぎに、第1平均化処理器(10)において、第1A/D変換器(8)からの $n$ 個のデータが $1/q$ 倍され、第2平均化処理器(11)において第2A/D変換器(9)からの $n$ 個のデータが $1/q$ 倍される。

前述の操作を $q$ 回繰り返すことにより、第1、第2平均化処理器(10)、(11)にはそれぞれ $q$ 回のサンプリングによる $n$ 個の平均値が存在する。

そこで、第1、第2平均化処理器(10)、(11)のそれぞれ $n$ 個の平均値を割算器(12)に輸入し、 $n$ 個の平均値のそれぞれについて比を求めて出力する。

したがって、割算器(12)からは $\Delta t$ 間隔ごとの $n$ 個のデータが出力され、これが特定の遊星歯車(P1)の $j$ 番目の歯 $P_j$ がかみ合う際の、遊星歯車(P)の

03

そこで、(8)式から特定の遊星歯車(P1)の $j$ 番目の歯 $P_j$ がかみ合う時の遊星歯車(P)の歯形誤差を検知することができ、これを $j$ 番目の歯 $P_j$ だけでなく、指定個数の歯について、前述の計測および計算を行えば、遊星歯車(P)の損傷を検知することができる。

したがって、第4図に示すように、信号検出器(1)により、稼働中の太陽歯車(S)、遊星歯車(P)、内歯車(R)のかみ合いによるかみ合い信号を検出し、つぎに、帯域フィルタ(4)により、検出されたかみ合い信号のうち損傷検知に有効な周波数成分のみを取り出し、さらに、包絡線検波器(7)により帯域フィルタ(4)の出力のピーク値の包絡線のみを検出する。一方、第1回転検出器(2)により第1図に示すように、太陽歯車(S)の $i$ 番目の歯 $S_i$ と特定の遊星歯車(P1)の $j$ 番目の歯 $P_j$ および内歯車(R)の $k$ 番目の歯 $R_k$ が線分AA'上に並んだ時から、遊星歯車(P)の公転回数を検出し、同様に第2回転検出器(3)により太陽歯車(S)の回転数を検出し、第1回転検出器(2)の出力を第1分周器(5)により

02

歯形誤差を示す(9)式の $E_{pj}/C_2$ に、それぞれ相当し、実際の計測による割算器(12)からの出力は第5図に示すように、損傷の発生した歯がかみ合う時には、 $D$ 、 $D'$ で示す大きな値となつて示され、さらに、この値の大小により損傷の程度も判定できる。尚同図において $D$ と $D'$ との間が $\Delta t \times n$ の1周期に相当し、これは、同時に、遊星歯車(P)の公転角度にも対応し、検知すべき公転角度範囲は $\Delta t$ により自由に選択できる。

以上のように、この発明の遊星歯車の損傷検知方法によると、遊星歯車の任意の公転角度に発生するかみ合い音または振動を、遊星歯車の公転に同期した一定の間隔毎および、太陽歯車の回転に同期した一定の間隔毎にそれぞれ検出し、検出により時系列信号をそれぞれ得、時系列信号からそれぞれ複数個の信号の相加平均を求め、前記相加平均により得た2つの信号成分の比から稼働中の遊星歯車機構の遊星歯車に発生した損傷を検知することにより、容易に損傷箇所を検知することができる。

04

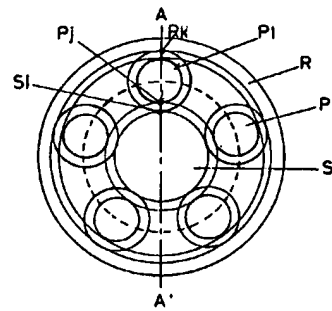
## 4 図面の簡単な説明

図面はこの発明の遊星歯車の損傷検知方法の1実施例を示し、第1図ないし第3図はこの発明の適用されるプラネタリ型遊星歯車機構の正面図、第4図は検知装置のブロック図、第5図は遊星歯車の公転角度と歯形誤差の大きさとの関係図である。

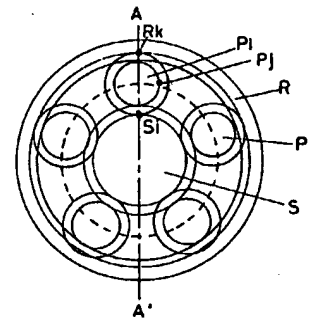
(P),(P1) … 遊星歯車、(R) … 内歯車、(S) … 太陽歯車。

代理人 弁理士 藤 田 龍 太 郎

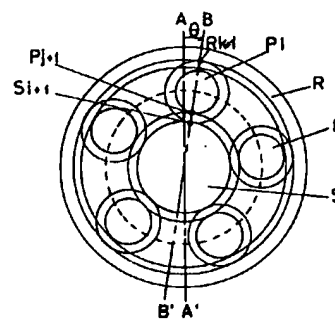
第 1 図



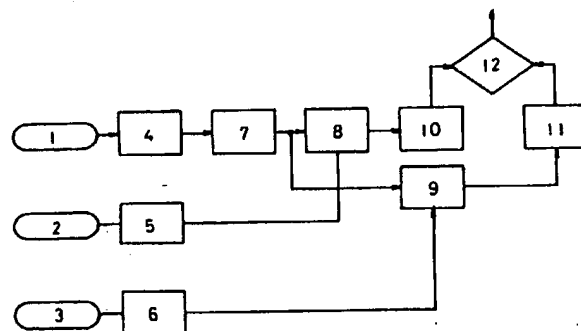
第 2 図



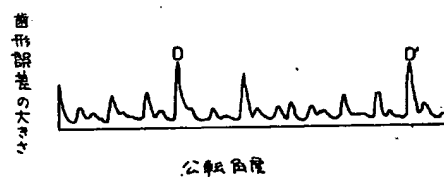
第 3 図



第 4 図



第 5 図





# 手続補正書 (自発)

昭和 55 年 7 月 30 日

適

特許庁長官殿

## 1 事件の表示

昭和 55 年 特 許 願 第 0 7 3 0 9 5 号

## 2 発明の名称

遊星歯車の損傷検知方法

## 3 補正をする者

事件との関係

特 許 出 願 人

住 所 大阪市西区江戸堀 1 丁目 6 番 14 号

名 称 (511) 日立造船株式会社

代 理 者 木 下 昌 雄

## 4 代 理 人 〒 530

住 所 大阪市北区東天満 2 丁目 9 番 4 号

千代田ビル東館

氏 名 (6151) 弁理士 藤田 龍太郎

電話 大阪 (06) 351-8733



## 5 補正の対象 明細書の「発明の詳細な説明」の欄

特開昭 56-168520 (6)

## 6 補正の内容

- (1) 第 6 頁第 15 行の「線分 A - A'」を「線分 AA」に補正。
- (2) 第 9 頁第 1 行の「 $N_s(mr)$ 」を「 $N_s(dm)$ 」に補正。
- (3) 同頁第 1 ~ 2 行の「 $N_s(mr)/m$ 」を削除。
- (4) 同頁第 4 ~ 5 行の「 $Lmr$  は ... 最小公倍数。」を削除。

(1)

(2)